

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 197 16 343 A 1**

51 Int. Cl.⁶:
H 01 L 35/32

21 Aktenzeichen: 197 16 343.2
22 Anmeldetag: 18. 4. 97
43 Offenlegungstag: 22. 10. 98

DE 197 16 343 A 1

71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:
Aigner, Robert, Dr., 81675 München, DE; Hierold,
Christofer, Dr., 81739 München, DE; Schmidt, Frank,
Dipl.-Phys., 85604 Zorneding, DE

56 Entgegenhaltungen:
DE-PS 10 82 311
GB 13 91 214
JP 08-2 04 242 A

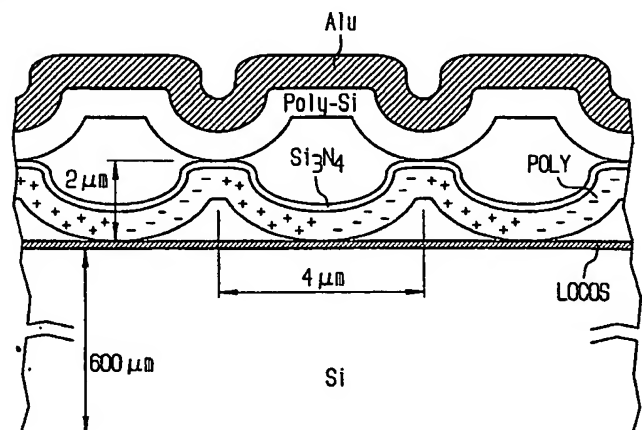
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

Der Inhalt dieser Schrift weicht von dem am Anmeldetag eingereichten Unterlagen ab

54 Elektrische Spannungsquelle für Halbleiterbauelemente

57 Ein Halbleiterbauelement weist eine Schicht aus Halbleitermaterial auf, die bereichsweise abwechselnd für elektrische Leitfähigkeit unterschiedlichen Vorzeichens dotiert ist. Diese Schicht ist senkrecht zur Schichtfläche zwischen thermisch leitenden Schichten so angeordnet, daß die Übergänge zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bereichen unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeiten nach außen elektrisch isoliert sind und abwechselnd mit einer der thermisch leitenden Schichten in thermischem Kontakt und gegen die jeweils andere thermisch leitende Schicht thermisch isoliert sind.



DE 197 16 343 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Halbleiterbauelement als Thermoelement oder Peltierelement, das unter Ausnutzung des thermoelektrischen Effektes (Seebeck-Peltier-Effekt) Temperaturdifferenzen in elektrische Potentialdifferenzen umwandelt und umgekehrt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine elektrische Spannungsquelle anzugeben, die an den Betrieb von Halbleiterbauelementen angepaßt ist und einen netzunabhängigen Betrieb insbesondere von telemetrischen Sensorsystemen erlaubt.

Diese Aufgabe wird mit der Halbleiter-Thermoelementanordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. mit der Anordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 6 gelöst. Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Die erfindungsgemäße Thermoelementanordnung weist eine Schicht aus Halbleitermaterial auf, die bereichsweise abwechselnd für elektrische Leitfähigkeit unterschiedlichen Vorzeichens dotiert ist. Diese Schicht ist senkrecht zur Schichtfläche zwischen thermisch leitenden Schichten so angeordnet, daß die Übergänge zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bereichen unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeiten nach außen elektrisch isoliert sind und abwechselnd mit einer der thermisch leitenden Schichten in thermischem Kontakt und gegen die jeweils andere thermisch leitende Schicht thermisch isoliert sind. Ladungsträgertransport findet also nur innerhalb der dotierten Schicht statt. Die Übergänge der elektrischen Leitfähigkeit in einer Richtung jeweils von plus nach minus sind z. B. mit einem Substrat aus Halbleitermaterial in thermischem Kontakt; die Übergänge in dieser Richtung von minus nach plus sind gegen das Substrat thermisch und elektrisch isoliert und stehen mit einer auf der von dem Substrat abgewandten Seite aufgetragenen thermisch leitenden Schicht (z. B. aus Metall oder Halbleitermaterial) in thermischem Kontakt. Eine Temperaturdifferenz zwischen den thermisch leitenden Schichten bewirkt daher, daß die (in einer bestimmten Richtung gesehen) pn-Übergänge jeweils eine höhere oder niedrigere Temperatur besitzen als die np-Übergänge. Die aneinandergrenzenden dotierten Bereiche besitzen thermoelektrische Eigenschaften, die dem Zusammenfügen unterschiedlicher Materialien einer thermoelektrischen Spannungsreihe entsprechen. Es werden daher durch die Temperaturdifferenzen zwischen den pn-Übergängen und den np-Übergängen elektrische Potentialdifferenzen in der dotierten Schicht hervorgerufen. Wenn mehrere entgegengesetzt zueinander dotierte Bereiche aufeinanderfolgen, addieren sich die thermoelektrisch erzeugten Potentialdifferenzen in der dotierten Schicht, da die pn-Übergänge und np-Übergänge in der Schicht in Reihe aufeinanderfolgen. An den äußeren Seiten der dotierten Schicht kann daher eine größere Potentialdifferenz abgegriffen werden, als wenn nur ein pn- oder np-Übergang vorhanden ist, der mit den auf der dotierten Schicht aufgetragenen Anschlußkontakten als Thermoelement fungiert. Das erfindungsgemäße Bauelement kann auch als Peltierelement verwendet werden, um durch Anlegen einer elektrischen Spannung an die Seiten der dotierten Schicht eine Temperaturdifferenz zwischen den thermisch leitenden Schichten zu erzeugen.

Es folgt eine genauere Erläuterung des erfindungsgemäßen Bauelementes anhand der beigelegten Figuren. Es wird mit "Peltier-Element" ein Bauelement bezeichnet, das eine Mehrzahl einzelner Thermoelemente aufweist. In den Ansprüchen wurde als gemeinsamer Oberbegriff für ein erfindungsgemäßes Bauelement, das einen oder mehrere als Thermoelement fungierende Teile aufweist, die Bezeichnung "Halbleiter-Thermoelementanordnung" verwendet. Das erfindungsgemäße Bauelement ist bevorzugt im Rahmen eines CMOS-Prozesses herstellbar; die Herstellung ist aber nicht auf diesen Prozeß beschränkt. Die Angabe der bevorzugten Herstellung ist nicht als Einschränkung der als erfindungsgemäß anzusehenden Ausführungsbeispiele des Bauelementes anzusehen.

Fig. 1 zeigt einen Ausschnitt aus einem Querschnitt durch ein erfindungsgemäßes Bauelement.

Fig. 2 zeigt ein Ersatzschaltbild eines Peltier-Elementes.

Fig. 3 zeigt ein Ersatzschaltbild für das Gesamtsystem.

Der in Fig. 1 dargestellte Querschnitt eines erfindungsgemäßen Bauelementes ist als eine typische und derzeit bevorzugte Ausführungsform aufzufassen. Die gezeigte Struktur ist in jedem koplanaren Querschnitt des Bauelementes vor oder hinter der Zeichenebene gleich. Die räumliche Struktur des Bauelementes ergibt sich daher im wesentlichen durch eine Verschiebung des dargestellten Querschnittes senkrecht zur Zeichenebene.

Die dotierte Schicht ist bei diesem Beispiel Polysilizium und in der Figur durch Plus- und Minuszeichen, die die unterschiedlich dotierten Bereiche markieren, gekennzeichnet. Die thermisch leitenden Schichten sind bei der gezeigten Ausführungsform durch ein Substrat, das hier vorzugsweise Silizium ist, und eine Doppelschicht aus einer der dotierten Schicht zugewandten weiteren Polysiliziumschicht und einer darauf aufgetragenen Aluminiumschicht. Statt dieser Doppelschicht kann nur eine aus einem Halbleitermaterial oder aus einem Metall bestehende Schicht vorhanden sein.

Zum Zweck einer elektrischen Isolation der pn- und np-Übergänge, d. h. um ein Kurzschließen der pn- und np-Übergänge durch die angrenzenden thermisch leitenden Schichten zu verhindern, sind die dünnen Schichten aus Siliziumoxid (LOCOS, locally oxidized silicon) und aus Siliziumnitrid (Si_3N_4) zwischen der dotierten Schicht und je einer der thermisch leitenden Schichten vorhanden. Das Material und die Dicke dieser elektrischen Isolationen werden so gewählt, daß eine ausreichende thermische Leitfähigkeit durch diese Schichten hindurch gegeben ist. Wenn die thermisch leitenden Schichten in ausreichendem Maß elektrisch isolieren, können die zusätzlichen, elektrisch isolierenden Schichten (LOCOS, Si-Nitrid in Fig. 1) weggelassen sein.

Die Stellen der dotierten Schicht, an denen in der Fig. 1 von links nach rechts gelesen die p-Dotierung (+) in die n-Dotierung (-) übergeht, im folgenden als pn-Übergänge bezeichnet, stehen mit dem Substrat in thermischem Kontakt und sind von der oberen thermisch leitenden Doppelschicht durch thermisch isolierende Zwischenbereiche getrennt, die vorzugsweise als Hohlräume ausgebildet sind. Die Stellen der dotierten Schicht, an denen in der Figur von links nach rechts gelesen die n-Dotierung (-) in die p-Dotierung (+) übergeht, im folgenden als np-Übergänge bezeichnet, stehen mit der oberen thermisch leitenden Doppelschicht in thermischem Kontakt und sind von dem Substrat durch thermisch isolierende Zwischenbereiche getrennt, die ebenfalls vorzugsweise als Hohlräume ausgebildet sind.

Diese Hohlräume werden z. B. in der Weise hergestellt, daß jeweils eine Opferschicht (sacrificial layer) aus einem bezüglich des Materials der vorgesehenen Schichten selektiv ätzbaren Material aufgebracht und entsprechend der Form der

herzustellenden Hohlräume strukturiert wird. Eine vorgesehene Schicht wird auf die Opferschicht aufgebracht und die Opferschicht dann selektiv zu der Schicht durch seitliche Öffnungen oder durch in der vorgesehenen Schicht hergestellte Ätzöffnungen weggeätzt. Entsprechend wird bei jeder Ebene herzustellender Hohlräume verfahren. Die gewellte Struktur der dotierten Schicht setzt sich nach links und rechts entsprechend fort. An den linken und rechten Seiten der dotierten Schicht sind Kontakte vorgesehen, an denen eine elektrische Spannung abgegriffen werden kann. Die dotierte Schicht kann im Prinzip auch eben oder weniger stark gewellt sein, wenn die thermisch leitenden Schichten ausreichend stark strukturiert sind. Die obere (Doppel-)Schicht kann z. B. stärker gewellt sein, während die der dotierten Schicht zugewandte Oberseite des Substrates nicht wie in der Fig. 1 gezeigt eben, sondern ebenfalls gewellt ist. Die eingetragenen Abmessungen sind nur als typische Beispiele zu verstehen.

Das erfindungsgemäße Bauelement kann als Spannungsquelle für ein aktives Halbleiterbauelement, d. h. ein mit einer angelegten elektrischen Spannung oder einem injizierten Strom zu betreibendes Bauelement, verwendet werden. Es kann zusammen mit Halbleiterbauelementen integriert werden.

Telemetrisch abfragbare Sensoren sind in einer Vielzahl von Anwendungen herkömmlichen Systemen überlegen. In Systemen mit einer großen Zahl von Sensoren, schwer zugänglichen oder sehr kleinen Meßstellen kann der Kostenanteil der Signalübertragung mit telemetrischen Sensoren entscheidend verringert werden. Passive telemetrische Sensoren benötigen keinen Energiespeicher auf dem eigentlichen Sensor, sie sind aber in Funktionalität und Reichweite beschränkt. Aktive telemetrische Sensoren auf Basis von CMOS-Technologie erlauben den Aufbau intelligenter Systeme mit niedrigen Kosten pro Meßstelle. Ein Nachteil ist bislang die Notwendigkeit einer Batterie als Energiequelle in jedem Sensor. Die Batterie verursacht Kosten, beschränkt die Nutzungsdauer und muß danach getrennt entsorgt werden. Die benötigte Leistung für den Betrieb des Sensors ist in modernen Low-Power-Schaltungen sehr gering, lediglich für die Signalübertragung ist kurzzeitig etwas höhere Leistung notwendig.

Peltier-Elemente ermöglichen die direkte Wandlung von thermischer in elektrische Energie. Die Entnahme thermischer Energie ist immer dann möglich wenn Wärmereservoirs auf verschiedener Temperatur verfügbar sind. Beispielsweise reicht ein Körper mit erhöhter Temperatur und dessen Temperaturgradient zur Umgebung hin aus, um elektrische Energie zu gewinnen.

Anwendungsgebiete des CMOS Thermogenerators: Energieversorgung für telemetrische Sensoren, eventuell monolithische Integration der Sensor- und Telemetrieschaltung, z. B. Heizkörpersensoren für Heizkostenabrechnung, Energieversorgung von bislang batteriebetriebenen Kleingeräten, z. B. Armbanduhren, Hörgeräte.

Der Leistungsfluß in einem Thermoelement hängt von Material- und Geometrieparametern sowie vom elektrischen Strom im Übergang ab.

Der Seebeck-Koeffizient S (gemessen in V/K) beschreibt die Kontaktspannung pro Kelvin eines Materials bezüglich eines Referenzmaterials.

Der Peltier-Koeffizient π_{pn} (gemessen in W/A) beschreibt den durch elektrischen Strom hervorgerufenen Wärmetransport. Werden zwei verschiedene Materialien (p, n) zusammengefügt, so errechnet sich die Kontaktspannung pro Kelvin aus der Differenz der beiden Seebeck-Koeffizienten. Der Wärmetransport entspricht dieser Differenz multipliziert mit der Temperatur T (gemessen in K) des jeweiligen Übergangs.

$$\pi_{pn} = T(S_p - S_n) \quad (\text{Gl. 1.1})$$

Ein Peltier-Element besteht üblicherweise aus einer Anzahl m von Übergängen, die thermisch parallel aber elektrisch in Serie geschaltet sind. Die warmen (H) und kalten (L) Übergänge sind thermisch nicht ideal voneinander isoliert, es existiert ein Wärmeleitwert K_{thHL} , der einen Verlust bewirkt, da die betreffende Wärmemenge für die Wandlung verloren ist. Weitere Verluste entstehen, da der elektrische Strom in den Übergängen und den dazwischen liegenden Bereichen ohmsche Verlustleistung erzeugt. Diese Verlustleistung $I_{el}^2 R_i$ kann symmetrisch auf (H) und (L) aufgeteilt werden.

Der Wärmefluß in den beiden Wärmestromquellen ergibt sich folgendermaßen:

$$P_H = m S_{pn} T_H I_{el} + \frac{I_{el}^2 R_i}{2} \quad (\text{Gl. 1.2})$$

$$P_L = -m S_{pn} T_L I_{el} + \frac{I_{el}^2 R_i}{2} \quad (\text{Gl. 1.3})$$

Fig. 2 zeigt ein thermisches Ersatzschaltbild für ein Peltier-Element, $K_{th1,2}$ = thermischer Leitwert zu den Wärmesenken 1 und 2, gemessen in W/K; K_{thHL} = thermischer Leitwert zwischen den Übergängen, gemessen in W/K.

Die Leerlaufspannung an den Klemmen ($I_{el} = 0$) hängt linear vom Temperaturunterschied zwischen (H) und (L) ab.

$$U_0 = m S_{pn} (T_H - T_L) \quad (\text{Gl. 1.4})$$

Der elektrische Innenwiderstand ergibt sich aus den spezifischen Widerständen ρ_{pn} der Materialien, der Geometrie sowie der Elementzahl m .

$$R_i = m \left(\frac{\rho_p l_p}{A_p} + \frac{\rho_n l_n}{A_n} \right) \quad (\text{Gl. 1.5})$$

Darin: A_p, A_n = Querschnittsfläche des Einzelements in m^2 , l_p, l_n = Länge zwischen (H) und (L) in m.

Der Wärmeleitwert K_{thHL} folgt entsprechend aus den spezifischen Wärmeleitfähigkeiten λ_p, λ_n und der Geometrie.

$$K_{thHL} = m \left(\frac{\lambda_p A_p}{l_p} + \frac{\lambda_n A_n}{l_n} \right) \quad (\text{Gl. 1.6})$$

Die Ausgangsspannung des Peltier-Elements ist:

$$U_{out} = m S_{pn} (T_H - T_L) - R_i I_{el} = U_0 R_i I_{el} \quad (\text{Gl. 1.7})$$

Die Ausgangsleistung des Peltier-Elements ist:

$$P_{out} = m S_{pn} (T_H - T_L) I_{el} - R_i I_{el}^2 \quad (\text{Gl. 1.8})$$

Die maximale Ausgangsleistung eines Peltier-Elements (mit idealen Wärmesenken $K_{th1}, K_{th2} \rightarrow \infty$) ergibt sich zu:

$$P_{out \max} = \frac{m^2 S_{pn}^2 (T_H - T_L)^2}{4 R_i} \quad (\text{Gl. 1.9})$$

Als "figure of merit" wird folgender Ausdruck herangezogen

$$Z = \frac{m^2 S_{pn}^2}{R_i K_{thHL}} \quad (\text{Gl. 1.10})$$

Durch Substitution von (1.5) und (1.6) und Optimierung der Geometrie erhält man:

$$Z_{\max} = \frac{S_{pn}^2}{(\sqrt{\lambda_p \rho_p} + \sqrt{\lambda_n \rho_n})^2} \quad \text{mit} \quad \frac{A_p l_n}{A_n l_p} = \sqrt{\frac{\rho_p \lambda_n}{\rho_n \lambda_p}} \quad (\text{Gl. 1.11})$$

Sind die Wärmeleitfähigkeiten und spezifischen Widerstände von (p) und (n) gleich, ist Z unabhängig von der Geometrie.

Technisch interessante Peltier-Elemente haben $Z > 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Die erwarteten Temperaturdifferenzen an den Thermoübergängen sind klein. Trotz Fortschritten in der Schaltungstechnik ("Low-Voltage") brauchen Schaltungen eine Versorgungsspannung von zumindest 1...1,5 V. Optimal sind 3...5 V, diese können dann mit hohem Wirkungsgrad nach Bedarf DC-DC gewandelt werden. Durch Serienschaltung einer hohen Anzahl von Thermoübergängen kann selbst bei geringen Temperaturdifferenzen eine ausreichende Spannung erzeugt werden, allerdings erhöht dies den Innenwiderstand des Thermogenerators erheblich und beschränkt letztlich die Ausgangsleistung. Das Zieldesign muß aus möglichst kleinen Elementarzellen zusammengesetzt werden, um ausreichende Freiheitsgrade zur Anpassung der Ausgangsspannung zu gewährleisten.

Der Preis des Thermogenerators ist proportional zur Chipfläche. Die erzielbare Leistung hängt von der Chipfläche, den thermischen Verhältnissen und Materialparametern ab. Um einen Richtwert für die gewünschte Leistung zu bestimmen, soll folgende Betrachtung angestellt werden:

Eine kleine Knopfzelle (1,5 V) hat eine Kapazität von etwa 50 mAh und einen Energieinhalt von weniger als 0,1 J. Nimmt man eine Betriebsdauer von nur einem Jahr an, so ist eine mittlere Leistungsentnahme von nur 3 nW zulässig. Eine Lithium-Foto-Batterie mit 3 V hat eine Kapazität von 1,3 Ah und einen Energieinhalt von 4 J. Bei einer Betriebsdauer von einem Jahr ergibt sich eine zulässige mittlere Leistungsentnahme von 0,13 μW . Der mittlere Leistungsbedarf von Schaltungen, in denen Batterien durch Thermogeneratoren ersetzt werden sollen, ist also sehr gering. Während Batterien problemlos kurzzeitig höhere Leistung abgeben können, muß ein Thermogenerator (je nach Auslegung) für diese Fälle um einen Energiespeicher ergänzt werden. Neben der mittleren Leistung ist also auch die kurzzeitig notwendige Leistung ein Dimensionierungskriterium.

In den Gesamtkosten sind neben den Kosten für den Chip auch die Kosten der Montage und des Kühlkörpers zu beachten. Um diese Kosten gering zu halten, soll der Chip mit der Substrat-Rückseite ganz flächig an der Wärmequelle befestigt werden und der Kühlkörper ganzflächig an der Chip-Oberfläche. Dies ergibt einen vertikalen Temperaturgradienten (bezogen auf den Chip). Konzepte mit lateralen Temperaturgradienten, wie sie in IR-Detektoren (Thermopiles) ver-

wendet werden, haben wesentlich größeren Flächenbedarf, höhere Verluste und widersprechen der Forderung nach einfacher Montage des Kühlkörpers.

Als Thermopaare können p^+ und n^+ dotierte Poly-Si-Schichten verwendet werden, diese liefern hohe Thermospannungen und sind im Standardprozeß verfügbar. Die Realisierung von verschlossenen Hohlräumen unter der Chip-Oberfläche kann hier äußerst vorteilhaft eingesetzt werden. In den Hohlräumen befindet sich Teilvakuum mit entsprechend geringer Wärmeleitfähigkeit, verglichen mit der Festkörperwärmeleitung der thermo-aktiven Poly-Bereiche ist die Leitfähigkeit des Gasraums vernachlässigbar.

Die Ausdehnung der Elementarzelle senkrecht zur Bildebene von Fig. 1 kann je nach notwendiger Elementzahl variiert werden. In der Draufsicht bilden die thermoelektrisch aktiven Bereiche Bahnen, um elektrische Isolation zu gewährleisten. Der Spalt zwischen den Bahnen ist mindestens $1\text{ }\mu\text{m}$ breit.

Bei einer Bahnbreite von z. B. $3\text{ }\mu\text{m}$ ist die Fläche einer Elementarzelle $4\text{ }\mu\text{m} \times 4\text{ }\mu\text{m}$, pro Quadratmillimeter Chipfläche können in diesem Fall 62500 (!) Elementarzellen integriert werden.

Mechanisch sind keine besonderen Probleme zu erwarten, da die frei tragende Länge der Poly-Schichten viel geringer ist als bei bereits realisierten Anwendungen.

Fig. 3 zeigt ein thermisches Ersatzschaltbild des Gesamtsystems.

Die thermischen Verhältnisse im Gesamtsystem sind entscheidend dafür, wie hoch die Temperaturdifferenz am Peltier-Element und damit die maximale Ausgangsleistung ist. In Fig. 3 werden folgende Abkürzungen verwendet:

$K_{thcontact}$ = thermischer Kontaktleitwert zur Wärmequelle

K_{thsub} = thermischer Leitwert durch Substratdicke

$K_{thHLcond}$ = thermischer Leitwert (Festkörper) zwischen (H) und (L),

$K_{thHLair}$ = thermischer Leitwert (Gas) zwischen (H) und (L),

$K_{th\infty}$ = thermischer Leitwert von (L) zur Umgebung hin,

K_{thll} = thermischer Paralleleitwert zwischen Quelle und (L),

alle gemessen in W/K.

Aus Materialwerten können diese Leitwerte grob abgeschätzt werden. Beispielsweise erhält man für eine Chipfläche von $4\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ und eine Poly-Dicke von $0,8\text{ }\mu\text{m}$:

$K_{thcontact} = 1\text{ W/K}$ (Annahme: Wärmeleitpaste oder -kleber)

$K_{thsub} = 4\text{ W/K}$ ($\lambda_{Si,mono} = 150\text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)

$K_{thHLcond} = 80\text{ W/K}$ ($\lambda_{Si,poly} = 40\text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, Flächenanteil der Thermoschenkel = 25% der Zelle)

$K_{thHLair} = 5\text{ W/K}$ ($\lambda_{Luft} = 0,026\text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, vernachlässigbar)

$K_{th\infty} = 0,08\text{ W/K}$ (z. B. IC-Kühlkörper für DIL24)

$K_{thll} = 0,1\text{ W/K}$ (Annahme: gleiche Größenordnung wie $K_{th\infty}$).

Der Seebeck-Koeffizient kann aus den Elektronenkonzentrationen in den Kontaktwerkstoffen bestimmt werden. Bei den verwendeten Halbleitern sind die Elektronenkonzentrationen n_p , n_n von den Dotierungen N_D und N_A abhängig.

$$S_{pn} = \frac{k}{e} \ln \frac{n_n}{n_p} = \frac{k}{e} \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2} \quad (\text{Gl. 2.1})$$

k = Boltzmann-Konstante = $1,38 \cdot 10^{-23}\text{ J/K}$,

e = Elementarladung = $1,6 \cdot 10^{-19}\text{ As}$,

n_i = Eigenladungsträgerdichte von Si = $1,5 \cdot 10^{10}\text{ cm}^{-3}$.

Mit $N_D = N_A = 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ ergibt sich:

$$S_{pn} = 3,5 \cdot 10^{-3}\text{ V/K}.$$

Mit hoch dotiertem Poly-Si (Dotierungshöhe $> 10^{19}\text{ cm}^{-3}$) ergibt sich ein R_{square} von $10 \dots 20\text{ }\Omega$. Der Innenwiderstand der Elementarzelle ist umgekehrt proportional zu der Breite (die Länge ist durch die Technologie festgelegt). Bei minimaler Breite ist der Innenwiderstand etwa $30\text{ }\Omega$. Die Breite ist umgekehrt proportional zur Elementzahl auf einem Chip. Der gesamte Innenwiderstand eines Thermogenerators mit der Chipgröße $4\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ ergibt sich zu:

$$R_i(4\text{ mm} \times 4\text{ mm}) \cong m^2 \cdot 30\text{ }\Omega / 10^6 \quad (\text{Gl. 2.2})$$

Für die minimale Zellengröße ($m = 10^6$) ergibt sich $R_i = 30\text{ M}\Omega$

Die "figure of merit" aus (Gl. 1.10) erhält man als

$$Z = \frac{m^2 S_{pn}^2}{R_i K_{thHL}} = 5 \cdot 10^{-3}$$

Die erzielbare Leistung ist extrem von den Kühlbedingungen abhängig. Bei sehr vorsichtiger Schätzung mit kleinen Kühlkörpern ($20\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$) und einem Chip mit $4\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ ergeben sich mit den abgeschätzten thermischen und elektrischen Eigenschaften Ausgangsleistungen im Bereich von $60\text{ }\mu\text{W}$ und Ausgangsspannungen einstellbar von 1 V bis 10 V .

1. Halbleiter-Thermoelementanordnung,
bei dem eine dotierte Schicht aus Halbleitermaterial vorhanden ist,
5 bei dem auf der ersten und zweiten Seite dieser dotierten Schicht in Bezug auf die Richtung senkrecht zur flächigen Ausdehnung der Schicht thermisch leitende Schichten angeordnet sind,
bei dem die dotierte Schicht bereichsweise abwechselnd für elektrische Leitfähigkeiten unterschiedlicher Vorzeichen dotiert ist,
10 bei dem Stellen der dotierten Schicht, an denen in einer vorgegebenen Richtung Übergänge von p-dotierten Bereichen zu n-dotierten Bereichen vorhanden sind, mit der thermisch leitenden Schicht auf der ersten Seite in einem thermischen Kontakt, der elektrisch isolierend bewirkt ist, sind und gegen die thermisch leitende Schicht auf der zweiten Seite thermisch isoliert sind,
bei dem Stellen der dotierten Schicht, an denen in dieser Richtung Übergänge von n-dotierten Bereichen zu p-dotierten Bereichen vorhanden sind, mit der thermisch leitenden Schicht auf der zweiten Seite in einem thermischen Kontakt, der elektrisch isolierend bewirkt ist, sind und gegen die thermisch leitende Schicht auf der ersten Seite thermisch isoliert sind und
15 bei dem Kontakte für elektrischen Anschluß auf der dotierten Schicht aufgebracht sind.
2. Halbleiter-Thermoelementanordnung nach Anspruch 1, bei dem die dotierte Schicht Polysilizium ist.
3. Halbleiter-Thermoelementanordnung nach Anspruch 1 oder 2, bei dem eine der thermisch leitenden Schichten durch ein Substrat aus Halbleitermaterial gebildet ist.
- 20 4. Halbleiter-Thermoelementanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die bezeichneten Stellen der dotierten Schicht gegen jeweils eine thermisch leitende Schicht mittels Hohlräumen zwischen den Schichten thermisch isoliert sind.
5. Halbleiter-Thermoelementanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die dotierte Schicht eine gewellte Struktur aufweist
- 25 6. Anordnung mit mindestens einem aktiven Halbleiterbauelement und einer für den Betrieb dieses Halbleiterbauelementes vorgesehenen elektrischen Spannungsquelle, bei der die Spannungsquelle eine Anordnung aus einem oder mehreren Halbleiter-Thermoelementen ist.
7. Anordnung nach Anspruch 6, bei der ein aktives Halbleiterbauelement und eine Anordnung aus einem oder mehreren Halbleiter-Thermoelementen in einem Substrat integriert und elektrisch leitend miteinander verbunden sind
30 derart, daß das aktive Halbleiterbauelement betrieben werden kann, indem eine Temperaturdifferenz vorgegebener Größe an das oder die Halbleiter-Thermoelemente angelegt wird.
8. Anordnung nach Anspruch 6 oder 7, bei der die Halbleiter-Thermoelementanordnung die Merkmale nach einem der Ansprüche 1 bis 5 aufweist

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

FIG 1

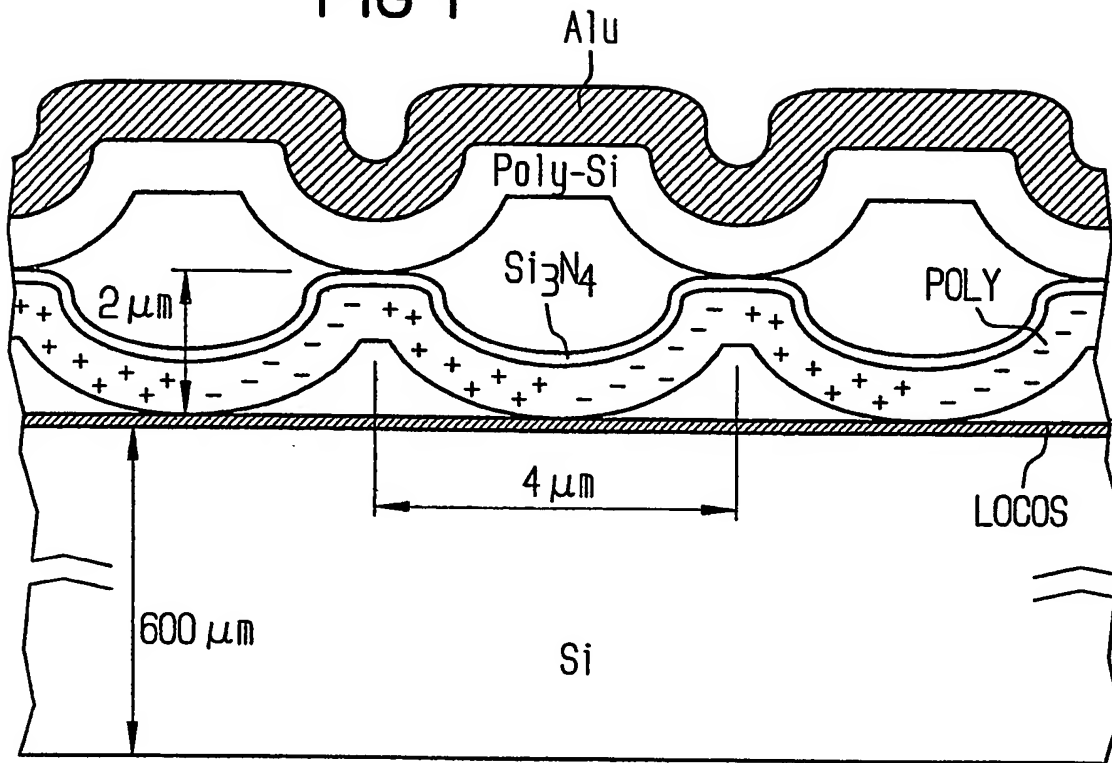


FIG 2

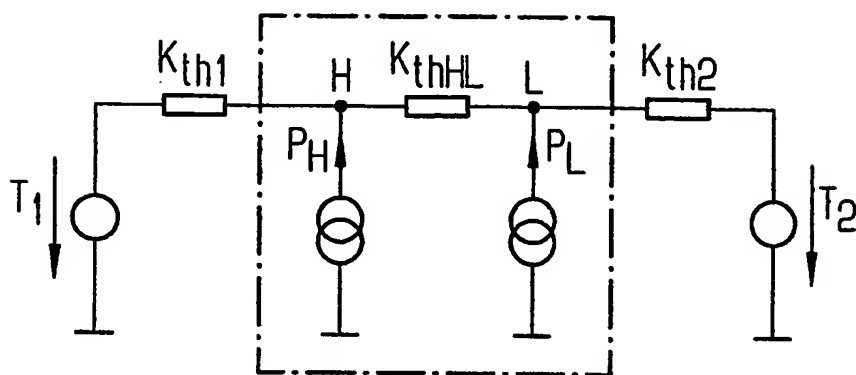


FIG 3

